

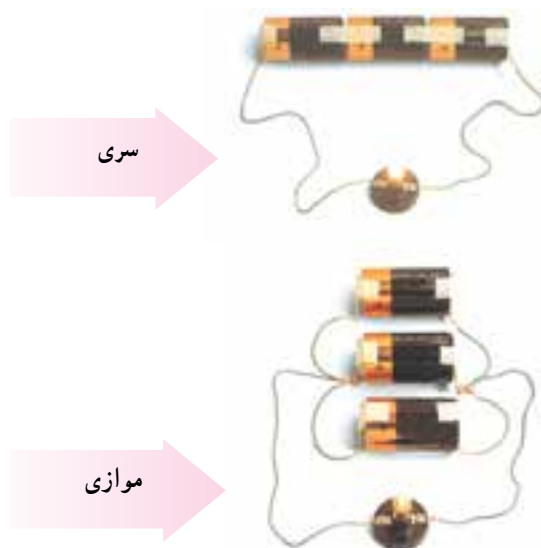


## اتصال پیل‌ها

### هدف‌های رفتاری

- در پایان این فصل، از هنرجو انتظار می‌رود:
- ۱- اتصال سری - موازی پیل‌ها را توضیح دهد.
  - ۲- پیل‌ها را به طور سری، موازی و مختلط به یکدیگر اتصال دهد.
  - ۳- کاربرد پیل‌ها را به طور سری و موازی و مختلط توضیح دهد.
  - ۴- مقاومت داخلی و اثرات آن را بیان کند.
  - ۵- پلاریته‌ی نقاط مختلف را در اتصال سری - موازی و مختلط مشخص کند.
  - ۶- اتصال متقابل را توضیح دهد.
  - ۷- باتری‌ها را از نظر توان (آمپر ساعت) با هم مقایسه کند.

خط بزرگ‌تر را معمولاً قطب مثبت و خط کوچک‌تر را قطب منفی در نظر می‌گیرند. در شکل ۱۲-۲ اتصال سری و موازی پیل‌ها را مشاهده می‌کنید.



شکل ۱۲-۲- اتصال سری و موازی پیل‌ها

### ۱۲-۱- اتصال باتری‌ها

یکی از منابع تأمین انرژی الکتریکی باتری‌ها هستند. باتری‌ها انرژی شیمیایی را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند. نمونه‌ای از باتری‌ها، پیل‌های خشک و تر هستند که در چراغ قوه و اتومبیل به کار می‌روند.

واژه‌ی باتری و پیل را معمولاً به جای یکدیگر به کار می‌برند اما این دو از نظر تکنیکی با هم تفاوت دارند. باتری از دو یا چند پیل تشکیل می‌شود که به طور سری یا موازی به هم وصل شده‌اند. به عبارت دیگر، پیل‌ها واحد تشکیل دهنده‌ی باتری‌ها هستند. نمای مداری یک پیل به صورت دو خط موازی است که یکی بزرگ‌تر و دیگری کوچک‌تر می‌باشد (شکل ۱۲-۱).



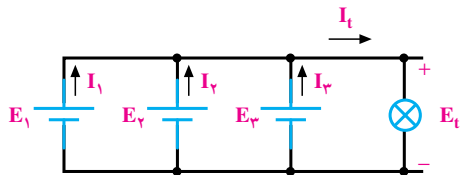
شکل ۱۲-۱- نمای مداری یک پیل

برای بالا بردن جریان دهی باتری، پیل‌ها به طور موازی بسته می‌شوند. برای موازی کردن پیل‌ها باید قطب مثبت پیل‌ها را به یکدیگر و قطب منفی آن‌ها را به یکدیگر اتصال داد. در شکل‌های ۵-۱۲ چند پیل موازی به صورت نمای الکتریکی و ظاهری نشان داده شده است.

لازم به توضیح است که در مدار شکل ۵-۱۲ ولتاژ دو سر پیل‌ها باید با هم برابر باشد اما ظرفیت جریان دهی، متناسب با تعداد پیل‌ها افزایش می‌یابد؛ یعنی:

$$E_t = E_1 = E_2 = E_3$$

$$I_t = I_1 + I_2 + I_3$$



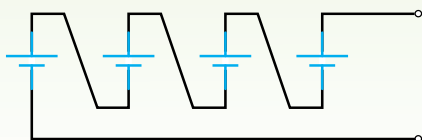
شکل ۵-۱۲- نمای ظاهری و مداری چند پیل موازی

مثال ۱: پیل‌های شکل ۶-۱۲ را طوری وصل کنید که حداکثر ولتاژ از آن‌ها به دست آید.

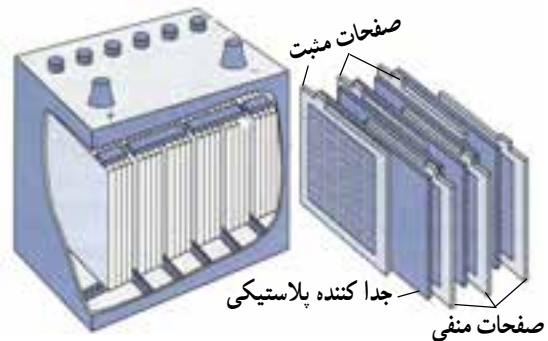


شکل ۶-۱۲

راه حل:

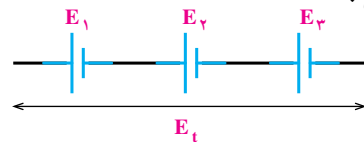


پیل‌های خشک در دو نوع قابل شارژ و غیر قابل شارژ تولید می‌شوند که بر روی آن‌ها حتماً مشخص می‌شود. در صورتی که پیل‌های تر معمولاً قابل شارژ هستند. در شکل‌های ۳-۱۲ یک نمونه پیل تر را مشاهده می‌کنید.



شکل ۳-۱۲- یک نمونه باتری تر

برای به دست آوردن ولتاژهای بیشتر، چند پیل را با هم سری می‌کنند برای سری کردن پیل‌ها باید قطب مثبت هر پیل به قطب منفی پیل دیگر اتصال یابد. ولتاژ کل یک باتری در صورت اتصال صحیح با مجموع ولتاژ تک تک پیل‌های سری شده برابر است؛ یعنی:



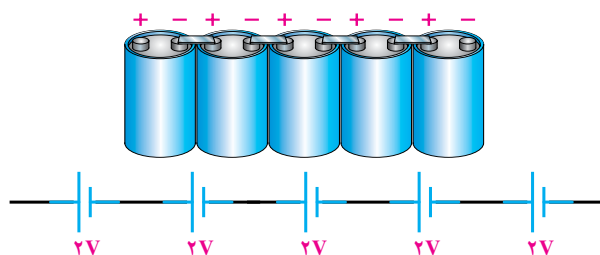
$$E_t = E_1 + E_2 + E_3$$

رابطه‌ی ولتاژ کل n پیل سری شده به صورت زیر است:

$$E_t = E_1 + E_2 + \dots + E_n$$

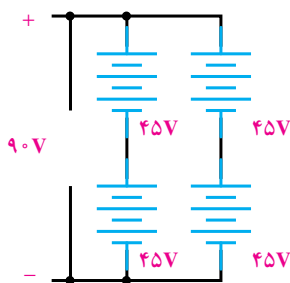
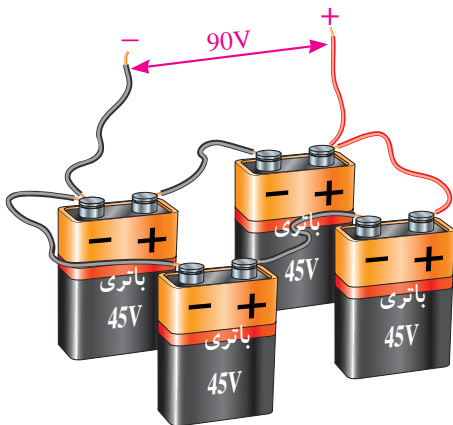
لازم به ذکر است در اتصال سری پیل‌های سری جریان عبوری از مدار یکسان است.

در شکل ۴-۱۲ اتصال سری چند پیل را می‌بینید.



شکل ۴-۱۲- اتصال سری پیل‌ها

اگر بخواهند ولتاژ باتری و جریان دهی را افزایش دهند، پیل‌های تشکیل دهنده‌ی باتری را به طور سری - موازی به هم وصل می‌کنند (شکل ۱۰-۱۲).



شکل ۱۰-۱۲- اتصال ترکیبی باتری‌ها

باتری‌ها را نیز می‌توان با یک‌دیگر به طور سری یا موازی بست. در صورتی که بخواهیم ولتاژ کل را بالا ببریم، باتری‌ها را سری می‌بندیم (ولتاژ باتری‌ها می‌تواند مساوی یا نامساوی باشد). در صورتی که بخواهیم ظرفیت جریان را بالا ببریم، باتری‌ها را موازی می‌بندیم اگر ولتاژ باتری‌ها مساوی باشد، هر باتری در افزایش ظرفیت جریان کل شریک است اما اگر ولتاژ یک یا چند باتری از ولتاژ سایر باتری‌ها کم‌تر باشد، باتری‌های با ولتاژ کم‌تر مانند مصرف‌کننده عمل می‌کنند و علاوه بر این که در تولید جریان همکاری ندارند، جریان نیز دریافت می‌کنند.

## ۱۲-۲- مقاومت داخلی پیل‌ها (باتری)

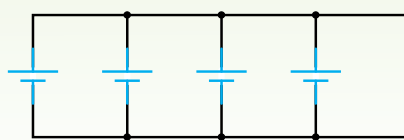
یک مولد (باتری) را در نظر می‌گیریم؛ ابتدا به کمک ولت‌متر، ولتاژ دو سر باتری را اندازه‌گیری کرده مقدار آن را

مثال ۲: پیل‌های شکل ۷-۱۲ را برای به دست آوردن حداکثر ظرفیت جریان به یک‌دیگر اتصال دهید.



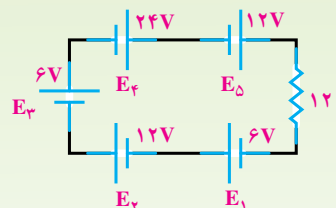
شکل ۷-۱۲

راه حل:



مثال ۳: در مدار شکل ۸-۱۲ ولتاژ و جریان دو سر

مصرف‌کننده چه قدر است؟



شکل ۸-۱۲

راه حل:

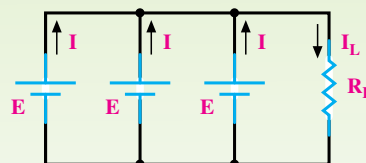
$$E_t = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5$$

$$E_t = 6V + 12V + 6V + 24V + 12V = 60V$$

$$I = \frac{E_t}{120} = \frac{60V}{120} = 0.5A$$

مثال ۴: در مدار شکل ۹-۱۲ ولتاژ و جریان دو سر بار

چه قدر است:



شکل ۹-۱۲

راه حل:

$$U_L = E_t = E$$

$$I_L = I + I + I = 3I$$

مثلاً برای مدار شکل ۱۱-۱۲ ولتاژ و جریانی که به مصرف کننده می‌رسد برابر است با :

$$R_t = r + R_L$$

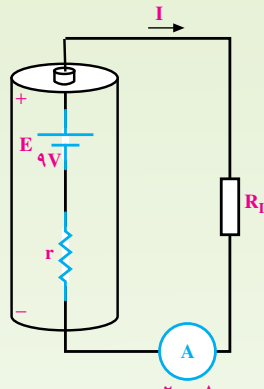
$$I = \frac{E}{R_t} = \frac{E}{r + R_L}$$

$$U_L = E - U_r = E - I \cdot r$$

$E$  ولتاژ باتری،  $U_r$  افت ولتاژ دو سر مقاومت داخلی و  $U_L$  افت ولتاژ دو سر بار یا مصرف کننده است. از روابط گفته شده چنین برمی‌آید که ولتاژی که به مصرف کننده می‌رسد، همیشه به اندازه‌ی افت ولتاژ دو سر مقاومت داخلی از ولتاژ باتری کم‌تر است.

**مثال ۵:** در مدار شکل ۱۲-۱۲

الف : مقدار  $r$  و ولتاژی که به بار می‌رسد وقتی که  $R_L = 300 \Omega$  باشد، چه قدر است؟



شکل ۱۲-۱۲

ب : اگر  $R_L$  را به  $345 \Omega$  افزایش دهیم، ولتاژ دو سر بار و شدت جریان مدار چه قدر می‌شود؟

راه حل: الف -  $R_L = 300 \Omega$

مقاومت معادل با استفاده از قانون اهم

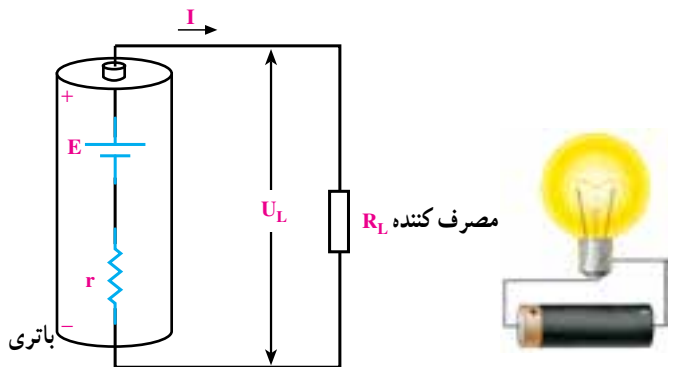
$$R_t = \frac{E}{I} = \frac{9V}{20mA} = 450 \Omega$$

$$R_t = r + R_L$$

$$r = R_t - R_L = 450 - 300 = 150 \Omega$$

$$U_L = IR_L = 20mA \cdot 300 \Omega = 6V$$

یادداشت می‌کنیم. سپس باتری را به دو سر یک مقاومت می‌بندیم. بار دیگر ولتاژ دوسر باتری را اندازه می‌گیریم و یادداشت می‌کنیم. از مقایسه‌ی ولتاژها، متوجه می‌شویم که ولتاژ اندازه‌گیری شده در مرحله‌ی دوم از ولتاژ اندازه‌گیری شده در مرحله‌ی اول کم‌تر است؛ در صورتی که انتظار می‌رفت، ولتاژ اندازه‌گیری شده در هر دو مرحله برابر باشد. از این رو اختلاف ولتاژ اندازه‌گیری شده را این گونه تعبیر می‌کنیم که باید حتماً در داخل مولد (باتری)، مقاومتی وجود داشته باشد که با عبور جریان از آن و افت مقداری از ولتاژ باتری در دو سر مقاومت، ولتاژ باتری کاهش یافته است. این مقاومت را مقاومت داخلی مولد (باتری) گویند. مقاومت داخلی هر باتری از نظر مصرف مانند مقاومتی است که با باتری سری شده است. شکل ۱۱-۱۲ یک باتری را با مقاومت داخلی نشان می‌دهد. مقاومت داخلی باتری را با حرف  $r$  نمایش می‌دهند که همیشه با مصرف کننده سری می‌شود.

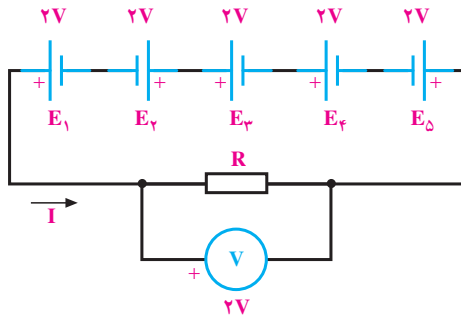


شکل ۱۱-۱۲- مقاومت داخلی باتری

هرچه مقاومت داخلی باتری کوچک‌تر باشد، افت ولتاژ دو سر آن کوچک‌تر است و می‌توان آن را نادیده گرفت. با ضعیف شدن باتری، مقاومت داخلی آن زیاد می‌شود و در نتیجه، ولتاژ و شدت جریان تولیدی باتری را کاهش می‌دهد. علت کاهش ولتاژ دوسر باتری - همان گونه که در مقدمه ذکر شد - این است که مقداری از ولتاژ باتری در دو سر مقاومت داخلی افت می‌کند و بقیه‌ی ولتاژ آن به مصرف کننده می‌رسد. در مورد کاهش جریان باتری، چون مقاومت داخلی باتری به مقاومت کل مدار اضافه می‌شود، شدت جریان کاهش می‌یابد،

### ۱۲-۳- اتصال متقابل پیل‌ها

در صورتی که دو یا چند پیل، مطابق شکل ۱۲-۱۴ به هم اتصال داده شوند، به آن **اتصال متقابل** می‌گویند. در این حالت، ولتاژ کل کاهش می‌یابد؛ زیرا پیل‌هایی که قطب‌هایشان به صورت مخالف با بقیه بسته شده است، مانند مصرف کننده عمل می‌کنند. رابطه‌ی ولتاژ کل در این مدار برابر است با تفاوت بین ولتاژهای مخالف و موافق؛ یعنی:



شکل ۱۲-۱۴- اتصال متقابل پیل‌ها

$$E_t = E_1 - E_2 + E_3 + E_4 - E_5$$

$$E_t = 2 - 2 + 2 + 2 - 2 = 2V$$

رابطه‌ی فوق برای پیل‌های با ولتاژ نابرابر در مدار سری نیز صادق است.

معمولاً پیل‌هایی را که ولتاژ متفاوت دارند، به صورت موازی و متقابل به یک‌دیگر اتصال نمی‌دهند؛ زیرا انرژی الکتریکی پیل‌های با ولتاژ بالاتر در پیل‌های با ولتاژ کم تر تخلیه می‌شوند. اگر باتری‌ها قابل شارژ باشند باتری ضعیف‌تر شارژ می‌شود و اگر باتری‌ها غیر قابل شارژ باشند انرژی الکتریکی در باتری ضعیف‌تر به حرارت تبدیل می‌شوند.

در بار  $R_L = 300\Omega$  از ولتاژ باتری فقط ۶ ولت به بار می‌رسد و ۳ ولت دو سر مقاومت داخلی افت می‌کند.

$$b - R_L = 345\Omega$$

با معلوم شدن مقاومت داخلی، مقاومت کل برابر است با

$$R_t = r + R_L = 150 + 345 = 360\Omega$$

شدت جریانی که در این حالت از مدار می‌گذرد، برابر

$$\text{است با } I = \frac{E}{R_t}$$

$$I = \frac{9V}{360\Omega} = 2/5mA$$

$$U_L = I \cdot R_L = 2/5mA \cdot 345\Omega = 8/625V$$

در این حالت، با اضافه شدن  $R_L$  ولتاژ بیشتری به بار می‌رسد (۸/۶۲۵V) و ولتاژ کم‌تری در دوسر مقاومت داخلی افت می‌کند (۰/۳۷۵V).

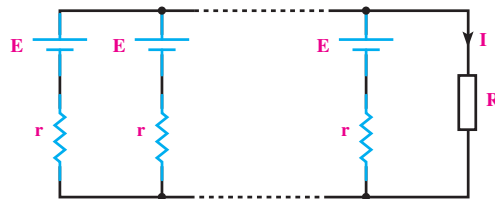
**نتیجه:** اگر مقاومت مصرف کننده نسبت به مقاومت

داخلی مولد خیلی بزرگ باشد، از مقاومت داخلی می‌توان صرف نظر کرد.

در صورتی که چند باتری کاملاً مشابه با مقاومت داخلی معین را با مصرف کننده (مطابق شکل ۱۲-۱۳) سری یا موازی ببندیم، شدت جریان کل مدار به ترتیب از روابط زیر به دست می‌آید.



$$I = \frac{nE}{nr + R}$$



$$I = \frac{E}{\frac{r}{n} + R}$$

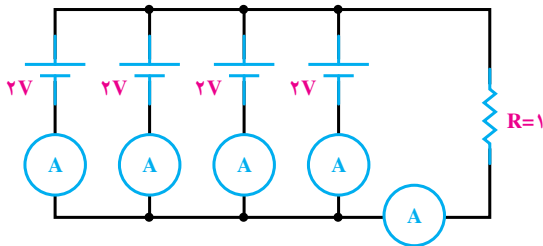
شکل ۱۲-۱۳- اتصال باتری‌ها با مقاومت داخلی به صورت سری و

موازی



- ۱- پیل را تعریف کنید.
- ۲- باتری را تعریف کنید.
- ۳- چند پیل تر و خشک را نام ببرید.
- ۴- اتصال چند پیل سری را از لحاظ پلاریته (قطب‌های مثبت و منفی) بررسی کنید.
- ۵- در اتصال موازی، شدت جریان کل چگونه تغییر می‌کند؟
- ۶- برای افزایش ولتاژ و تأمین ولتاژ مورد نیاز، پیل‌ها را چگونه اتصال می‌دهند؟
- ۷- مقاومت داخلی پیل چیست و چه تأثیری در مدار دارد؟
- ۸- اتصال متقابل پیل‌ها یعنی چه؟

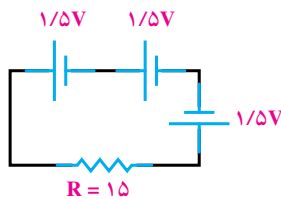
- ۱- برای تأمین ولتاژ ۹ ولت حداقل از چند باتری  $1/5$  ولتی و به چه صورت استفاده می‌کنیم؟  
(جواب: ۶ - سری)
- ۲- برای افزایش میزان جریان‌دهی یک باتری به ۵ برابر، چند باتری مشابه دیگر را و به چه صورت باید به مدار اضافه کنیم؟  
(جواب: ۴ - موازی)



شکل ۱۲-۱۵

- ۳- در مدار شکل ۱۲-۱۵ شدت جریان هر پیل و شدت جریان کل را به دست آورید.

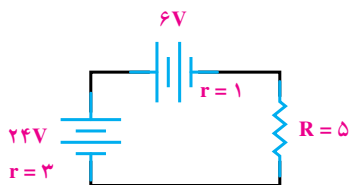
(جواب:  $0/5A$  ،  $2A$ )



شکل ۱۲-۱۶

- ۴- در مدار شکل ۱۲-۱۶ ولتاژ و جریان کل چه قدر است؟

(جواب:  $1/5V$  ،  $100mA$ )



شکل ۱۲-۱۷

- ۵- در مدار شکل ۱۲-۱۷ شدت جریان مدار چه قدر است؟

(جواب:  $2A$ )

## جریان متناوب

### هدف‌های رفتاری

- در پایان این فصل، از هنرجو انتظار می‌رود:
- ۱- جریان متناوب را تعریف کند.
  - ۲- انواع جریان متناوب را شرح دهد.
  - ۳- نحوه‌ی تولید جریان متناوب سینوسی را بیان کند.
  - ۴- دامنه‌ی موج را تعریف کند.
  - ۵- فرکانس و دوره‌ی تناوب موج سینوسی را توضیح دهد و آن‌ها را محاسبه کند.
  - ۶- ماکزیمم دامنه‌ی موج را شرح دهد.
  - ۷- مقدار مؤثر دامنه‌ی موج را توضیح دهد و آن را حساب کند.
  - ۸- مقدار متوسط دامنه‌ی موج را شرح دهد و آن را حساب کند.
  - ۹- اختلاف فاز دو موج سینوسی را بیان کند.
  - ۱۰- معادلات زمانی جریان و ولتاژی را که دارای شکل موج متناوب سینوسی هستند بنویسد.

همان‌طور که می‌دانید، ولتاژ تولید شده توسط یک باتری، ولتاژ مستقیم است که باعث عبور جریان مستقیم می‌شود. به این ترتیب، جریان همیشه در یک جهت جاری است؛ بنابراین، جریان مستقیم یک جهتی است. جریان متناوب دو جهتی است؛ یعنی، الکترون‌ها ابتدا در یک جهت و سپس در جهت دیگر - مخالف جهت قبل - جاری می‌شوند. اگر بتوانیم قطب‌های یک باتری را در یک زمان معین به طور دائم تغییر دهیم، جریانی دو جهتی و در نتیجه، جریانی متناوب خواهیم داشت.

### ۱۳-۲- انواع جریان متناوب

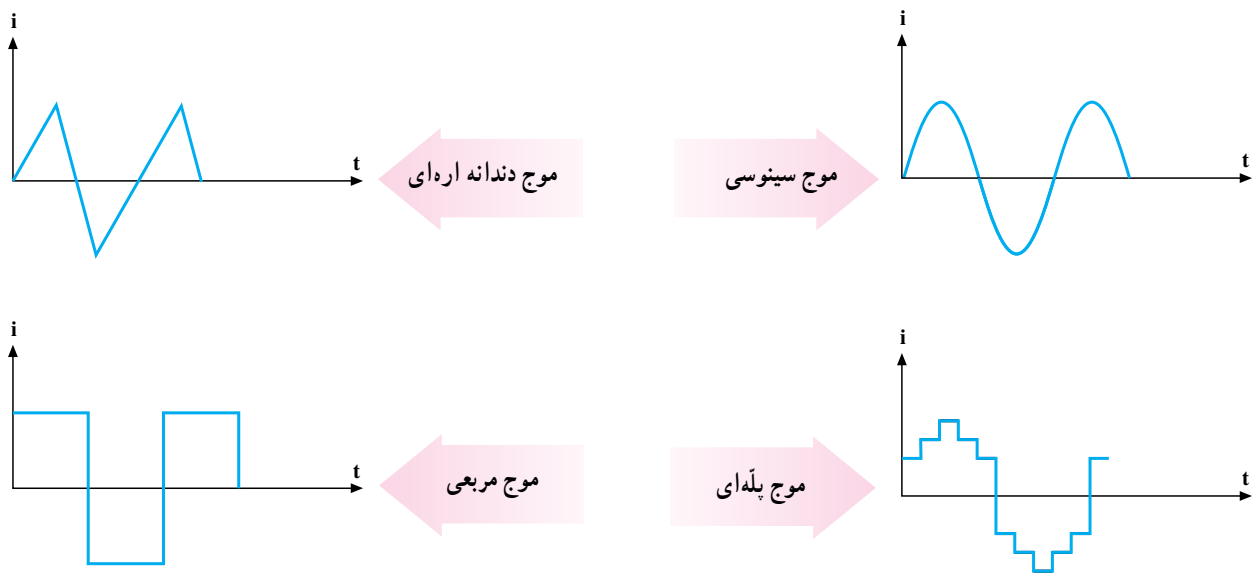
برای نشان دادن چگونگی تغییر جریان در زمان از شکل

قبلاً در مورد جریانی که فقط در یک جهت جاری بود و مقدار و جهت آن در طول زمان تغییر نمی‌کرد، با عنوان جریان مستقیم یا جریان DC صحبت کردیم، در این‌جا جریانی را که مقدار و جهت آن در طول زمان تغییر می‌کند، با عنوان جریان متناوب<sup>۱</sup> یا جریان AC مورد بررسی قرار می‌دهیم.

### ۱۳-۱- تعریف جریان متناوب

جریان متناوب جریانی است که جهت آن طی زمان تغییر می‌کند و دامنه‌ی آن نیز نسبت به زمان، از صفر تا حداکثر مثبت و از حداکثر مثبت تا صفر و از صفر تا حداکثر منفی و از حداکثر منفی تا صفر تغییر می‌کند.

<sup>۱</sup> - Alternative current



شکل ۱-۱۳- چند نمونه از شکل موج‌های جریان متناوب

سیم پیچ و تولید لحظه به لحظه‌ی شکل موج جریان یا ولتاژ متناوب را نشان می‌دهد.

در مرحله‌ی ۱ خطوط قوای مغناطیسی به وسیله‌ی سیم پیچ قطع نمی‌شود (سیم پیچ با خطوط قوا موازی است). در نتیجه، ولتاژ در این مرحله صفر است. چنان‌چه سیم پیچ در جهت حرکت عقربه‌های ساعت بچرخد، (مرحله‌ی ۲) قطع خطوط قوا به وسیله‌ی سیم پیچ افزایش می‌یابد. در نتیجه، ولتاژ تولید شده، رفته‌رفته زیاد می‌شود و پس از پیمودن  $90^\circ$  درجه به مقدار ماکزیمم خود می‌رسد. در مرحله‌ی ۳، با ادامه‌ی دوران سیم پیچ تا  $180^\circ$  درجه قطع خطوط قوا کاهش می‌یابد در نتیجه ولتاژ تولید شده نیز کاهش می‌یابد و در  $180^\circ$  درجه از گردش، دوباره به مقدار صفر می‌رسد. از این لحظه به بعد، جهت ولتاژ تولیدی عوض می‌شود و در مرحله‌ی ۴ تا  $270^\circ$  درجه، مقدار آن دوباره افزایش می‌یابد تا در جهت عکس، به نقطه‌ی ماکزیمم خود می‌رسد. در مرحله‌ی ۵ با ادامه‌ی گردش تا  $360^\circ$  درجه، مقدار ولتاژ تولید شده کاهش می‌یابد و دوباره به صفر می‌رسد. تا این‌جا سیم پیچ، یک دور کامل زده است. با ادامه‌ی هر گردش سیم پیچ، ولتاژ تولید شده تغییرات مشابهی را طی می‌کند. در همه‌ی این حالت‌ها جریان در مصرف‌کننده هم تغییراتی مانند ولتاژ دارد و مقدار آن به طور مرتب صفر، ماکزیمم، صفر، ماکزیمم در جهت عکس و بالاخره صفر می‌شود.

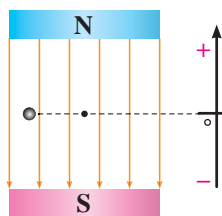
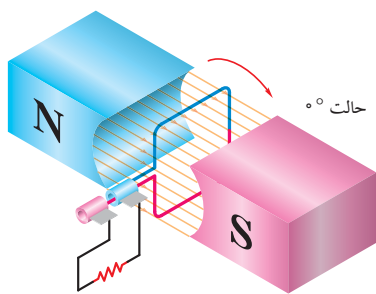
موج استفاده می‌کنیم. در شکل ۱-۱۳ چند نمونه شکل موج را مشاهده می‌کنید. یکی از انواع شکل موج‌ها، شکل موج جریان متناوب سینوسی است. هر نیمه از شکل موج جریان متناوب سینوسی قرینه‌ی نیمه دیگر آن با قطب معکوس است. جریان سینوسی معمول‌ترین نوع جریان متناوب است. به این ترتیب، وقتی درباره‌ی جریان متناوب فکر می‌کنیم، اغلب همان موج سینوسی مورد نظر ماست.

### ۱۳-۳- تولید جریان متناوب

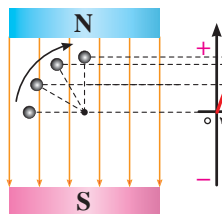
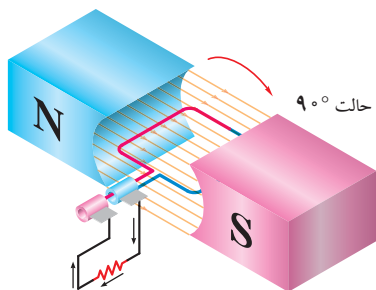
با شناخته شدن جریان متناوب و تولید و انتقال آسان آن، روزه‌روز بر اهمیت آن نیز افزوده شده است. برای تولید جریان متناوب، می‌توان از یک ژنراتور ساده AC استفاده کرد. در ژنراتور AC از ترکیب اصول فیزیکی و مغناطیسی استفاده می‌شود. بدین ترتیب که اگر دو قطب یک آهن‌ربا در نزدیکی یک دیگر قرار داشته باشند، همواره فلوی مغناطیسی (خطوط قوا) از قطب شمال آهن‌ربا خارج و به قطب جنوب آن وارد می‌شود. چنان‌چه در مسیر خطوط قوا سیم پیچی دوران کند، خطوط قوا توسط سیم پیچ قطع می‌شود. هرگاه این عمل به طور مستمر انجام گیرد، جریان متناوب از مولد جریان متناوب به وجود می‌آید.

شکل ۲-۱۳- نمای یک ژنراتور ساده و چگونگی حرکت

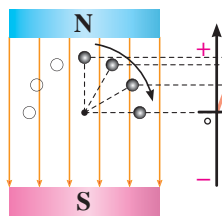
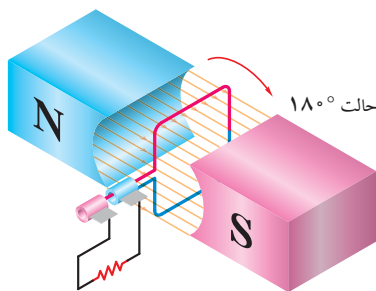




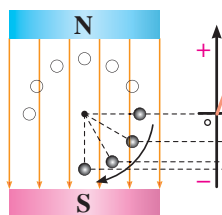
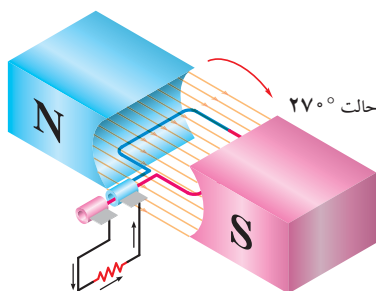
مرحله یک  
۰°



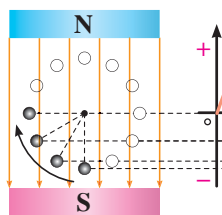
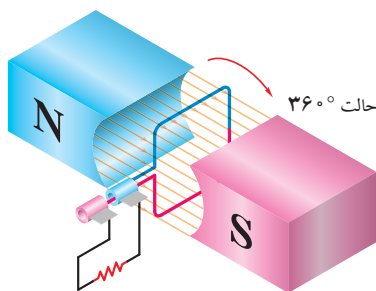
مرحله دو  
گردش از ۰° تا ۹۰°



مرحله سه  
گردش از ۹۰° تا ۱۸۰°



مرحله چهار  
گردش از ۱۸۰° تا ۲۷۰°



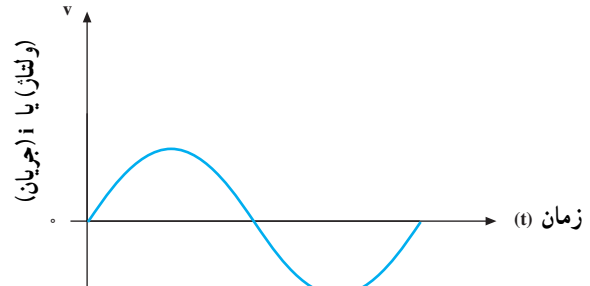
مرحله پنج  
گردش از ۲۷۰° تا ۳۶۰°

شکل ۲-۱۳- تولید جریان متناوب و منحنی لحظه به لحظه‌ی جریان یا ولتاژ تولید شده

تذکره: در شکل ۲-۱۳ دو سر مقاومت‌ها به دو حلقه (رینگ)ی مجزا از هم وصل است و قطبین حلقه‌ها در اثر حرکت سیم پیچ عوض می‌شوند.

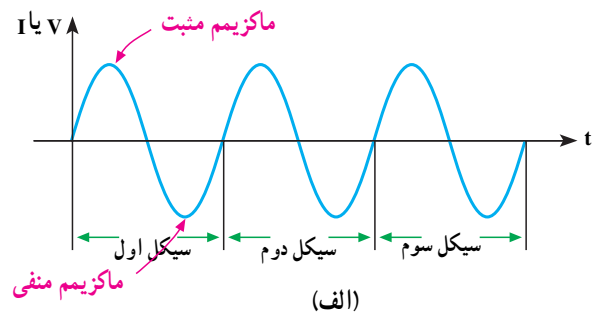
## ۴-۱۳- مشخصات جریان متناوب

در بررسی برخی مدارهای جریان متناوب (AC) با موج سینوسی سروکار داریم. در این مدارها ولتاژ و جریان، هر دو متناسب و به شکل موج سینوسی هستند. شکل ۳-۱۳ یک موج سینوسی را نشان می‌دهد که بیانگر جریان یا ولتاژ سینوسی است.



شکل ۳-۱۳- موج سینوسی

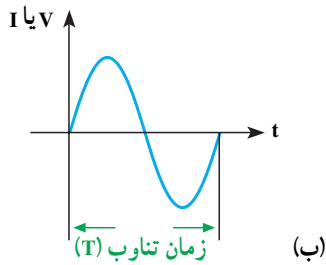
همان‌طور که می‌بینید، مقدار و جهت ولتاژ یا جریان با زمان تغییر می‌کند؛ یعنی از صفر شروع می‌شود و به مقدار پیک یا ماکزیمم مثبت می‌رسد. آن‌گاه دوباره صفر می‌شود و سپس به پیک یا ماکزیمم منفی می‌رسد و باز صفر می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌کنید، هنگامی که موج سینوسی از صفر می‌گذرد، پلاریته‌ی خود را عوض می‌کند. به عبارت ساده‌تر، موج سینوسی بین مقادیر مثبت و منفی تناوب می‌کند. مجموعه‌ی یک تناوب مثبت و منفی را یک **سیکل** گویند (شکل ۴-۱۳- الف).



(الف)

## ۵-۱۳- زمان تناوب

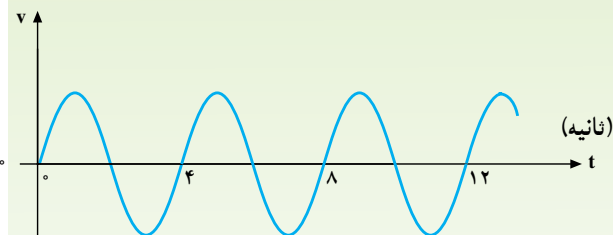
همان‌طور که دیدید، موج سینوسی با زمان (t) تغییر می‌کند. بنا به تعریف، مدت زمانی را که طول می‌کشد تا یک سیکل کامل به وجود آید، **زمان تناوب** یا **پریود** می‌گویند و آن را با حرف T نمایش می‌دهند (شکل ۴-۱۳- ب).



(ب)

شکل ۴-۱۳- دوره‌ی تناوب یک موج سینوسی

مثال ۱: در شکل ۵-۱۳ زمان تناوب موج سینوسی را به دست آورید.

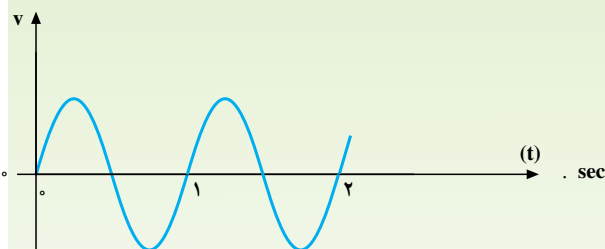


شکل ۵-۱۳

راه حل: یک سیکل کامل را مشخص می‌کنیم زمان انجام آن را از روی محور زمان به دست می‌آوریم.

$$T = 4 \text{ ثانیه}$$

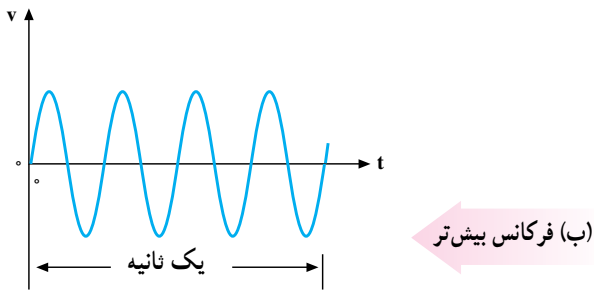
مثال ۲: در شکل ۶-۱۳ سه روش برای اندازه‌گیری زمان تناوب پیدا کنید.



شکل ۶-۱۳

راه حل:

روش اول- زمان تناوب را می‌توان از یکی از صفرها در سیکل اول تا صفر مشابه در سیکل دوم اندازه گرفت.  
روش دوم- زمان تناوب را می‌توان بین دو پیک



شکل ۸-۱۳- نمایش فرکانس

مقدار فرکانس با توجه به کاربرد آن مقادیر خاصی دارد؛ مثلاً فرکانس برق شهر در ایران ۵۰ هرتز یا ۵۰ cps است. یعنی برق شهر در ایران ۵۰ سیکل کامل را در یک ثانیه طی می‌کند. فرکانس برق در بعضی از کشورها ۶۰ هرتز (۶۰ cps) است. فرکانس جریان یا ولتاژ متناوب را می‌توان با فرکانس متر (دستگاه اندازه‌گیری فرکانس) یا اسیلوسکوپ (دستگاه نمایش شکل موج) اندازه گرفت. با توجه به مطالب گفته شده، رابطه‌ی بین فرکانس و زمان تناوب را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$f = \frac{1}{T} \text{ هرتز}$$

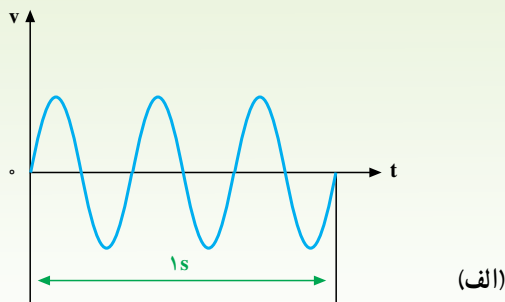
$$T = \frac{1}{f} \text{ ثانیه}$$

با توجه به این روابط، هر قدر فرکانس زیادتر شود، به همان اندازه زمان تناوب کاهش پیدا می‌کند؛ مثلاً اگر زمان تناوب یک موج، یک ثانیه باشد فرکانس آن یک هرتز و اگر زمان تناوب، ۲ ثانیه شود، فرکانس آن نصف خواهد شد.

مثال ۳: با توجه به شکل ۹-۱۳

الف - فرکانس کدام موج بیشتر است؟

ب - مقادیر زمان تناوب و فرکانس را حساب کنید.

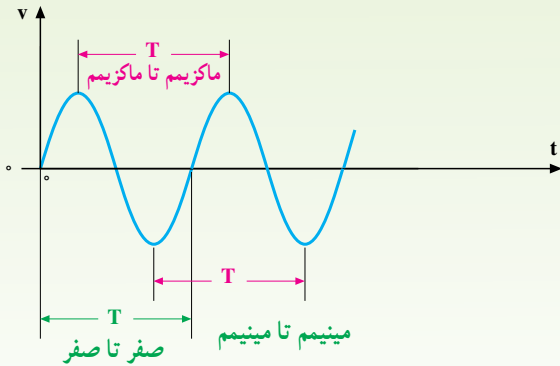


(ماکزیمم) مثبت متوالی اندازه گرفت.

روش سوم - زمان تناوب را می‌توان بین دو بیک (ماکزیمم)

منفی متوالی اندازه گرفت.

شکل ۷-۱۳ سه روش اندازه‌گیری را نشان می‌دهد.



شکل ۷-۱۳

## ۱۳-۶- فرکانس

بنا به تعریف، تعداد سیکل‌هایی را که در یک ثانیه پیموده

می‌شود، **فرکانس** گویند و آن را با حرف  $f$  نشان می‌دهند.

واحد فرکانس را **سیکل بر ثانیه** (cps) یا اصطلاحاً

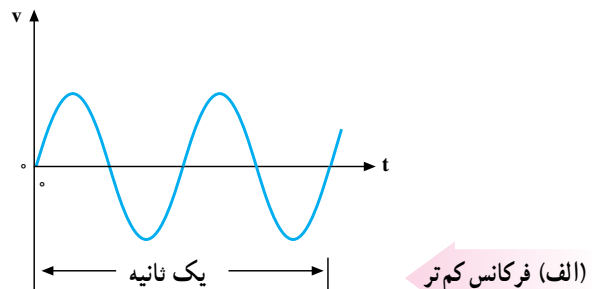
**هرتز** (Hz) می‌نامند. هر چه تعداد سیکل‌ها در ثانیه بیشتر باشد،

فرکانس بیشتر است. شکل ۸-۱۳ دو موج سینوسی را نشان

می‌دهد که موج (الف) دو سیکل و موج (ب) چهار سیکل را در

ثانیه طی می‌کنند؛ یعنی، فرکانس موج (الف) ۲ هرتز و فرکانس

موج (ب) چهار هرتز است.



۱ - cps مخفف کلمات cycle per second و به معنای سیکل بر ثانیه است.

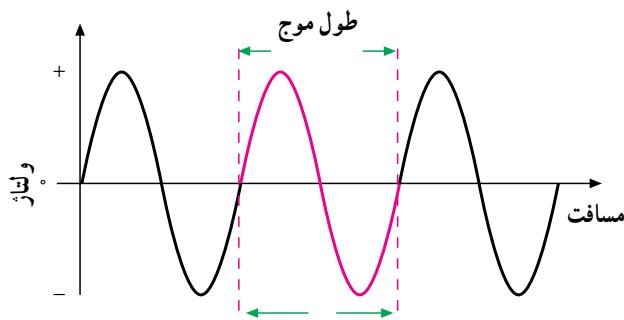
## ۷-۱۳- طول موج

وقتی تغییرات ولتاژ به جای زمان برحسب مسافت بررسی می‌شود، یک سیکل شامل یک طول موج خواهد بود. به تعبیر دیگر، مسافتی را که یک موج در یک سیکل کامل طی می‌کند، **طول موج** گویند (شکل ۱۰-۱۳). طول موج به سرعت انتشار موج و تغییرات فرکانس بستگی دارد. بدین ترتیب که با سرعت انتشار موج، نسبت مستقیم و با تغییرات فرکانس، نسبت عکس دارد. طول موج را با حرف  $\lambda$  (لاندا) نمایش می‌دهند و رابطه‌ی آن به صورت زیر است.

$$v = \frac{c}{f}$$

$c =$  سرعت نور یا امواج الکترومغناطیسی، یعنی

$3 \cdot 10^8$  متر بر ثانیه و  $f$  فرکانس بر حسب هرتز و برحسب متر است.



شکل ۱۰-۱۳- نمایش طول موج در یک موج سینوسی

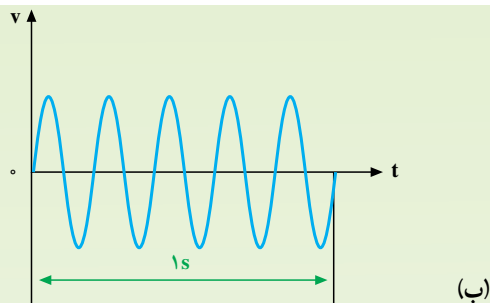
**مثال ۶:** طول موج یک صدا با فرکانس  $100 \text{ Hz}$  که به وسیله‌ی بلندگوی پخش می‌شود، چه قدر است؟ (سرعت صوت  $340 \text{ m/sec}$  فرض شود).

**حل:**

$$v = 340 \cdot 10^2 \text{ متر / ثانیه}$$

$$f = 100 \text{ Hz}$$

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{340 \cdot 10^2}{100} = 340 \text{ (m)}$$



شکل ۹-۱۳

**راه حل:** موج الف ۳ سیکل و موج ب ۵ سیکل را در ثانیه طی کرده‌اند. پس فرکانس موج ب بیشتر است.

$$\text{موج الف: } T = \frac{1}{3} \text{ ثانیه } \& \text{ و } f = 3 \text{ Hz}$$

$$\text{موج ب: } T = \frac{1}{5} = 0.2 \text{ ثانیه } \& \text{ و } f = 5 \text{ Hz}$$

در صنعت برای زمان تناوب از واحدهای کوچک‌تر و برای فرکانس از واحدهای بزرگ‌تر استفاده می‌کنند. این واحدها به صورت زیر نوشته می‌شوند.

$$1 \text{ میلی ثانیه } (1 \text{ ms}) = 10^{-3} \text{ s}$$

$$1 \text{ میکرو ثانیه } (1 \mu\text{s}) = 10^{-6} \text{ s}$$

$$1 \text{ نانو ثانیه } (1 \text{ ns}) = 10^{-9} \text{ s}$$

$$1 \text{ کیلوهرتز } (1 \text{ kHz}) = 10^3 \text{ Hz}$$

$$1 \text{ مگا هرتز } (1 \text{ MHz}) = 10^6 \text{ Hz}$$

$$1 \text{ گیگاهرتز } (1 \text{ GHz}) = 10^9 \text{ Hz}$$

**مثال ۴:** اگر زمان تناوب یک موج سینوسی  $10$  میلی‌ثانیه باشد، فرکانس آن چه قدر است؟

$$\text{حل: } f = \frac{1}{T} = \frac{1}{10 \cdot 10^{-3} \text{ (s)}} = 100 \text{ Hz}$$

**مثال ۵:** فرکانس یک موج سینوسی  $60$  هرتز است. زمان تناوب آن چه قدر است؟

$$\text{حل: } T = \frac{1}{f} = \frac{1}{60 \text{ Hz}} = 16.67 \text{ (ms)}$$

مثال ۷: طول موج یک موج رادیویی با فرکانس ۳ گیگاهرتز چه قدر است؟

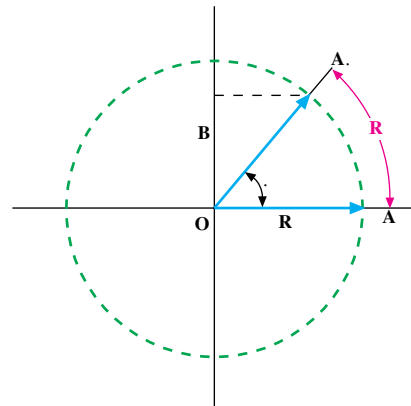
$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$f = 3 \cdot 10^9 \text{ Hz}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{3 \cdot 10^9} = 0.1 \text{ m} = 10 \text{ (cm)}$$

## ۸-۱۳- سرعت زاویه‌ای

سرعت را با مقدار مسافتی که یک متحرک در واحد زمان طی می‌کند، می‌سنجند؛ مثلاً وقتی می‌گویند سرعت یک اتومبیل ۸۰ کیلومتر بر ساعت است، یعنی این وسیله‌ی نقلیه در هر ساعت ۸۰ کیلومتر راه می‌رود. اگر سرعت ثابت باشد، رابطه‌ی سرعت و مسافت طی شده در واحد زمان به صورت  $V = \frac{x}{t}$  است که در آن  $V$  سرعت،  $x$  مسافت طی شده و  $t$  زمان می‌باشد. حال اگر این مسافت به صورت خط مستقیم نباشد و پیرامون یک مسیر دایره شکل باشد، برای بیان سرعت از اصطلاح سرعت زاویه‌ای استفاده می‌کنند و آن را با  $\omega$  نشان می‌دهند. برای محاسبه‌ی سرعت زاویه‌ای  $\omega$ ، شکل ۱۱-۱۳ را - که دایره‌ای به شعاع  $R$  است - در نظر می‌گیریم. در این شکل، متحرک  $A$  از نقطه‌ی  $A$  روی محیط دایره حرکت می‌کند. هرگاه مسافتی از محیط دایره - که به اندازه‌ی شعاع  $R$  است - پیموده شود، یک رادیان پیموده شده است.



شکل ۱۱-۱۳- نمایش سرعت زاویه‌ای و مسافت طی شده نسبت به زمان

زاویه‌ای را که متحرک از  $A$  تا  $A$  پیموده است، با  $\omega$  نمایش می‌دهند. در صورتی که  $AA$  برابر  $R$  باشد، مقدار زاویه‌ی  $\omega$  برابر یک رادیان یا  $30^\circ / 57$  خواهد بود.

زاویه‌ای را که در واحد زمان طی شود، با  $\omega$  نشان می‌دهند و آن را سرعت زاویه‌ای می‌خوانند؛ بنابراین اگر سرعت زاویه‌ای ثابت باشد، رابطه‌ی زیر را برای سرعت زاویه‌ای می‌توان نوشت.

$$\omega = \frac{\dot{\theta}}{t}$$

این رابطه عیناً شبیه رابطه‌ی  $V = \frac{x}{t}$  است که  $x$  و مسافت‌های پیموده شده بر حسب متر و رادیان می‌باشند.

زاویه‌ی پیموده شده در یک دور کامل - یعنی در زمان یک پرید - برابر  $360^\circ$  درجه یا  $2\pi$  رادیان است. در این صورت، رابطه‌ی سرعت زاویه‌ای برابر است با

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \text{ (Rad)}$$

$$T = \frac{1}{f} \text{ . پس}$$

$$\omega = 2\pi f$$

## ۹-۱۳- مقادیر ماکزیمم ولتاژ و جریان موج سینوسی

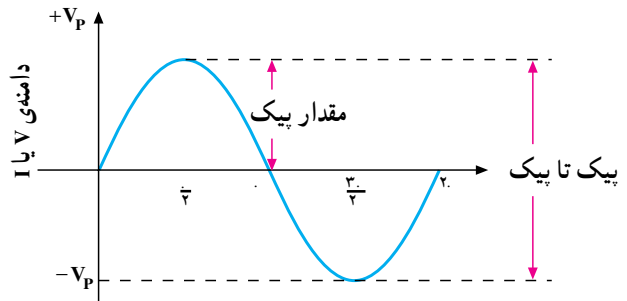
دامنه‌ی ولتاژ مستقیم (DC) همواره ثابت است. ولی در ولتاژ متناوب (AC) در هر لحظه دامنه و جهت ولتاژ در حال تغییر است.

در ولتاژ AC اولین موضوعی که باید مورد ملاحظه قرار گیرد، مقدار پیک ولتاژ یا دامنه‌ی ماکزیمم آن است. فاصله‌ی بین صفر (محور افقی زمان) تا مثبت‌ترین (بالا‌ترین) نقطه‌ی شکل موج یا فاصله‌ی بین صفر تا منفی‌ترین (پایین‌ترین) نقطه‌ی شکل موج، پیک نامیده می‌شود. در شکل ۱۲-۱۳ ولتاژ متناوب (AC) نشان داده شده شامل پیک مثبت و پیک منفی است. مقدار پیک تا پیک ولتاژ AC عبارت از فاصله‌ی بالاترین نقطه‌ی پیک مثبت و پایین‌ترین نقطه‌ی پیک منفی شکل موج است. در موج سینوسی مقدار پیک برابر  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  پیک تا پیک است. با استفاده از اسیلوسکوپ

می‌توان مقادیر پیک و پیک تا پیک را اندازه گرفت.

**مقادیر لحظه‌ای یا دامنه** می‌گویند. بدیهی است که در تناوب مثبت، مقادیر لحظه‌ای مثبت و در تناوب منفی، مقادیر لحظه‌ای منفی خواهد بود.

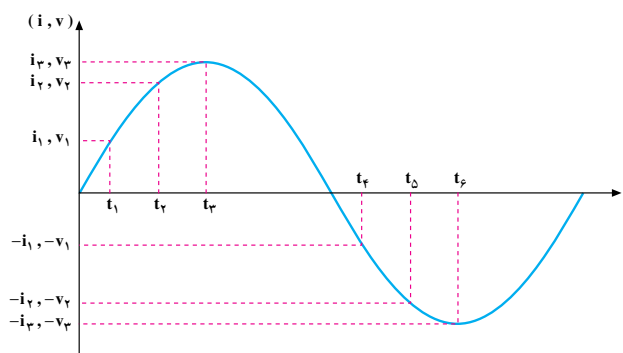
مقادیر لحظه‌ای را با حروف کوچک  $i$  و  $v$  نشان می‌دهند. گاهی ممکن است که به دانستن مقدار لحظه‌ای یک ولتاژ یا جریان نیاز داشته باشیم. در اغلب موارد هیچ کدام از مقادیر پیک تا پیک یا لحظه‌ای قادر نیستند اندازه‌ی واقعی ولتاژ یا جریان را بیان کنند و به جای آن‌ها اغلب از دو مقدار دیگر به نام‌های مقدار متوسط (Average) و مقدار مؤثر (Effective) استفاده می‌کنند.



شکل ۱۲-۱۳

### ۱۰-۱۳- مقادیر لحظه‌ای

طبق شکل موج نشان داده شده در شکل ۱۳-۱۳ ولتاژ یا جریان، در هر زمان مقادیر خاص خود را دارند که به آن‌ها

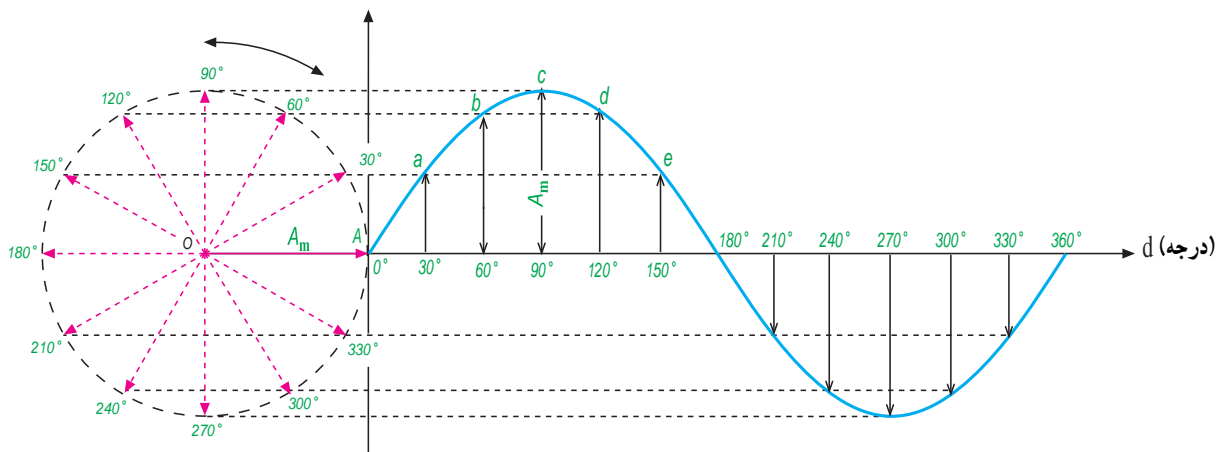


شکل ۱۳-۱۳- نمایش مقادیر لحظه‌ای

سیم پیچ القا یا تولید می‌شود. شکل موج این ولتاژ در لحظات مختلف در شکل ۱۴-۱۳ ترسیم شده است.

### ۱۱-۱۳- معادله‌ی زمانی جریان یا ولتاژ سینوسی

همان گونه که آموختید در اثر گردش یک سیم پیچ با قاب مستطیل شکل در میدان مغناطیسی آهن‌ربای دائم، ولتاژی روی



شکل ۱۴-۱۳- نمایش موج سینوسی ولتاژ

چون  $\omega t$  بر حسب رادیان و هر رادیان برابر  $57/3$  درجه است، پس

$$U = 156 \sin(0/754 \cdot 57/3^\circ)$$

$$U = 156 \sin 43/2^\circ$$

با استفاده از جدول مثلثاتی

$$\sin 43/2^\circ \approx 0/685$$

$$U = 156 \cdot 0/685 \approx 107 \text{ ولت}$$

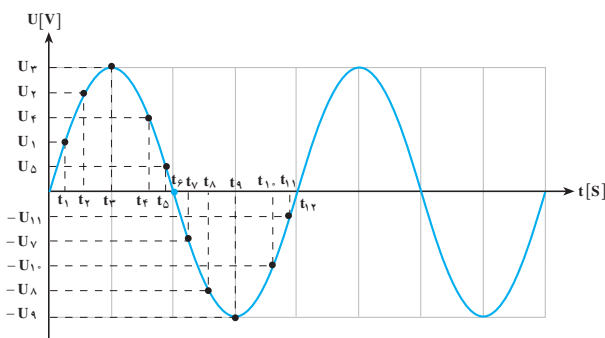
## ۱۲-۱۳- مقدار متوسط (Average) موج سینوسی

مقدار متوسط یک ولتاژ یا جریان متناوب؛ میانگین مقادیر لحظه‌ای آن موج در یک دوره تناوب است.

به طور کلی برای محاسبه میانگین هر کمیتی باید حاصل جمع مقادیر آن نقاط مختلف را بر تعداد نقاط تقسیم کرد. مثلاً برای محاسبه میانگین حداقل و حداکثر دمای یک اتاق باید حاصل جمع حداقل دما با حداکثر دمای محیط را جمع و بر ۲ تقسیم کرد و یا برای محاسبه میانگین بین سه عدد  $10$ ،  $18$  و  $17$  به صورت زیر عمل کرد.

$$\text{میانگین سه عدد (معدل)} = \frac{10 + 18 + 17}{3} = \frac{45}{3} = 15$$

بر همین اساس برای محاسبه دقیق مقدار متوسط یک موج باید مقادیر موج در هر لحظه را با هم جمع و بر تعداد نمونه‌های برداشته شده تقسیم کرد. شکل ۱۳-۱۵ یک موج سینوسی ولتاژ متناوب را نشان می‌دهد که در هر نیم سیکل به ۶ قسمت تقسیم شده است و مقدار متوسط آن در هر نیم سیکل حساب شده است.



شکل ۱۳-۱۵

شعاع دایره یعنی OA با ماکزیم دامنه‌ی موج ایجاد شده برابر است. با گردش سیم بیچی OA و طی  $3^\circ$  درجه، ولتاژ القا شده دامنه‌ای برابر a تا محور افقی دارد و در  $6^\circ$  درجه، دامنه‌ی ولتاژ برابر b تا محور افقی خواهد بود. پس با توجه به زاویه‌ی چرخش  $3^\circ$  = و دامنه‌ی ولتاژ القا شده (a) می‌توان نوشت:

$$\sin = \frac{a}{A_m}$$

a دامنه‌ی ولتاژ لحظه‌ای (U) و  $A_m$  دامنه‌ی ولتاژ ماکزیم ( $U_{max}$ ) است؛ بنابراین، ولتاژ القا شده در هر لحظه برابر است با حداکثر دامنه‌ی موج در سینوس زاویه‌ی آن، یعنی:

$$a = A_m \sin.$$

$$U = U_{max} \sin. \text{ یا}$$

$$= \omega t \quad \text{قبلاً دانستیم که}$$

$$U = U_{max} \sin \omega t \quad \text{پس}$$

معادله‌ی جریان نیز به همین صورت اثبات می‌شود؛ یعنی:

$$i = I_{max} \sin \omega t$$

$$i = I_{max} \sin. \quad \text{یا}$$

مثال ۸: معادله‌ی ولتاژ متناوبی را بنویسید که فرکانس آن  $60$  هرتز و ماکزیم ولتاژ آن  $156$  ولت باشد.

حل: سرعت زاویه‌ای  $\omega$  برابر با  $2\pi f$  است. پس:

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 60 = 377 \text{ Rad/sec}$$

$$\omega = 377 \text{ Rad/sec}$$

$$U_{max} = 156 \text{ V}$$

$$U = U_{max} \sin \omega t$$

$$U = 156 \sin 377t$$

مثال ۹: مقدار لحظه‌ای ولتاژ مثال شماره‌ی ۸ را در

پایان  $t = 0/002$  ثانیه به دست آورید.

حل:

$$U = 156 \sin 377t$$

$$t = 0/002 \text{ sec}$$

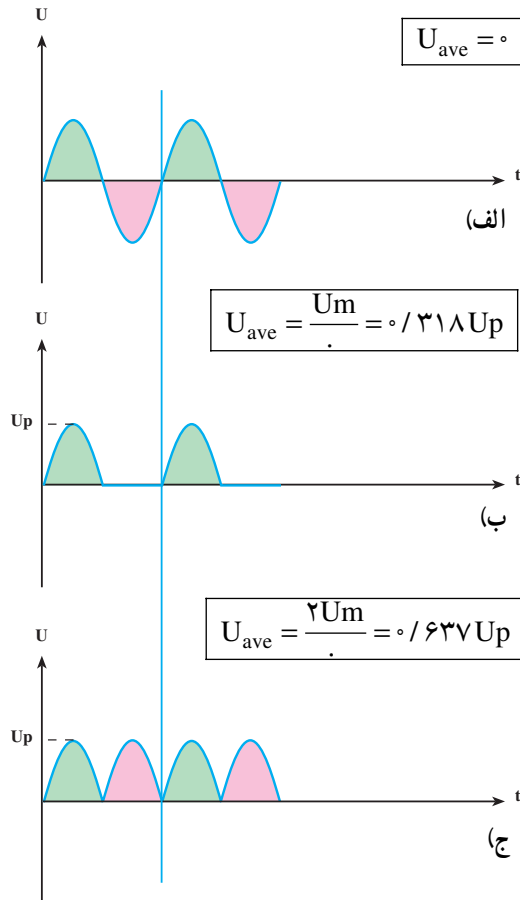
$$U = 156 \sin 377 \cdot 0/002$$

$$U = 156 \sin 0/754$$

نکته: هر قدر تعداد نقاط بیش تر باشد، مقدار میانگین محاسبه شده دقیق تر است.

$$U_{av}^+ = \frac{U_1 + U_2 + U_3 + U_4 + U_5 + U_6}{6} \quad (\text{میانگین مقادیر لحظه‌ای نیم سیکل مثبت})$$

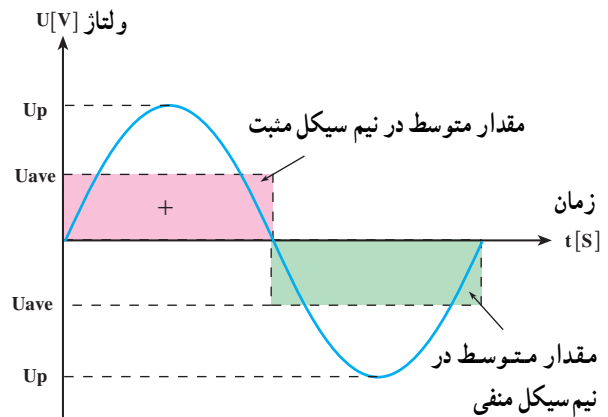
$$U_{av}^- = \frac{(-U_7) + (-U_8) + (-U_9) + (-U_{10}) + (-U_{11}) + (-U_{12})}{6} \quad (\text{میانگین مقادیر لحظه‌ای نیم سیکل منفی})$$



شکل ۱۳-۱۷

لازم به ذکر است برای محاسبه مقدار متوسط شکل موج جریان نیز به همین ترتیب و بر پایه این روابط می‌توان عمل کرد یعنی:

مقدار متوسط هر یک از نیم سیکل‌های یک موج سینوسی در شکل ۱۳-۱۶ نشان داده شده است مساحت زیر هر نیم سیکل با مساحت مقدار متوسط در همان نیم سیکل برابر است.



شکل ۱۳-۱۶

همان طوری که از شکل ۱۳-۱۶ مشخص است مقدار متوسط در یک سیکل کامل که از جمع دو نیم سیکل به دست می‌آید که مقدار آن مساوی صفر می‌شود.

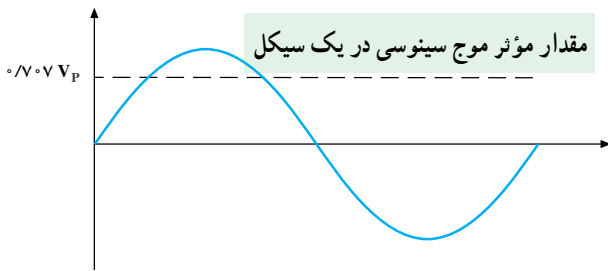
$$U_{ave} = U_{ave}^+ + U_{ave}^- = 0$$

هرگاه شکل موج‌هایی به صورت امواج نشان داده شده در شکل ۱۳-۱۷ داشته باشیم و بخواهیم مقدار متوسط هر یک از آن‌ها را حساب کنیم می‌توانیم از روابط نوشته شده در مقابل آن‌ها استفاده کنیم.<sup>۱</sup>

۱- با چگونگی محاسبه و زمینه کاربرد مقدار متوسط در مباحث الکتریکی و الکترونیکی سال‌های بعد آشنا خواهید شد.



ولتاژ مؤثر در یک موج سینوسی برابر  $0.707 V_p$  یا  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  مقدار ماکزیمم است (شکل ۲۰-۱۳).



شکل ۲۰-۱۳ مقدار مؤثر (Rms) یک موج سینوسی کامل  $0.707$  مقدار پیک موج است.

$$U_{\text{مؤثر}} = U_{\text{rms}} = U_{\text{eff}} = U_e = \frac{1}{\sqrt{2}} U_p \quad \& \quad 0.707 U_p$$

$$I_{\text{مؤثر}} = I_{\text{rms}} = I_{\text{eff}} = I_e = \frac{1}{\sqrt{2}} I_p \quad \& \quad 0.707 I_p$$

مثال ۱۰: مقدار مؤثر  $20^\circ$  ولت پیک تا پیک را به دست آورید.

راه حل: ابتدا آن را بر ۲ تقسیم کرده و سپس در  $0.707$  ضرب می‌کنیم. بنابراین:

$$U_p = \frac{1}{2} U_{p-p} = \frac{1}{2} \cdot 20 = 10 \text{ V}$$

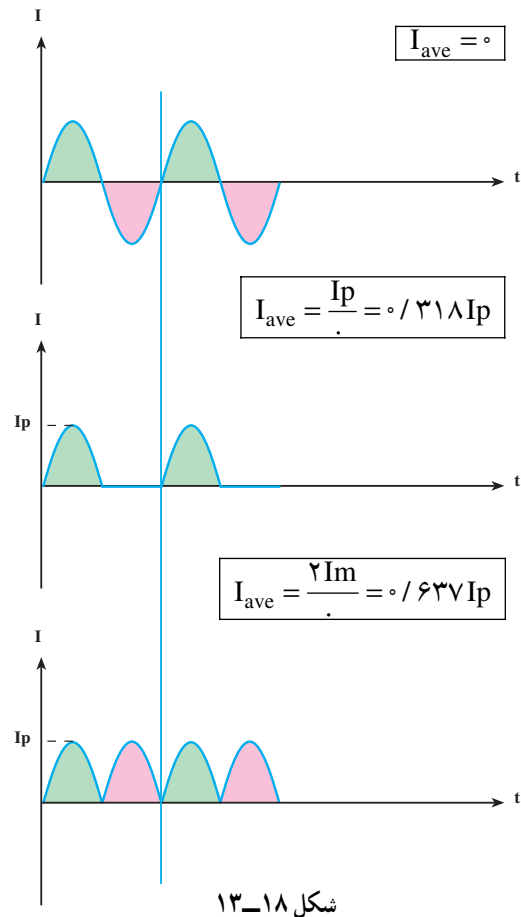
ولت  $U_e = 10 U_p \cdot 0.707 = 7.07$  در محاسبه‌ها، فرمول کلی را به صورت:

$$U_p = \sqrt{2} U_e \quad \text{یا} \quad U_e = \frac{U_p}{\sqrt{2}} = \frac{U_p}{1.41}$$

می‌نویسند. چنانچه فرمول  $U_e$  برحسب ولتاژ پیک تا پیک نوشته شود، مقدار آن برابر با  $U_{p-p} = 2.828 U_{\text{rms}}$  خواهد بود.

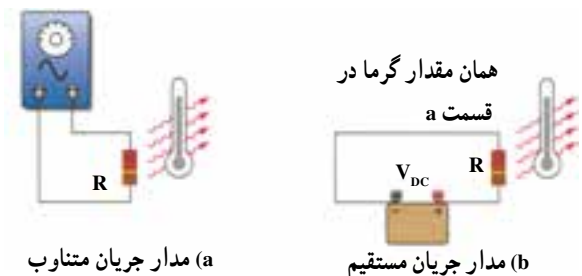
مثال ۱۱: مقدار پیک تا پیک ولتاژ  $220^\circ$  ولت (برق شهر) چند ولت است؟  
راه حل:

$$U_e = \frac{U_p}{\sqrt{2}}$$



### ۱۳-۱۳ مقدار مؤثر (Rms) موج سینوسی

مقدار مؤثر هر ولتاژ متناوب، برابر است با مقدار ولتاژ مستقیم یا DC که در یک مصرف کننده‌ی معین؛ همان مقدار کار یا حرارت تولید می‌کند. به عبارت دیگر، مقدار جریان مستقیمی را که اثر حرارتی آن در یک مدت معین در یک مصرف کننده برابر اثر حرارتی جریان AC مورد نظر باشد، مقدار مؤثر (Effective) آن جریان AC می‌گویند.



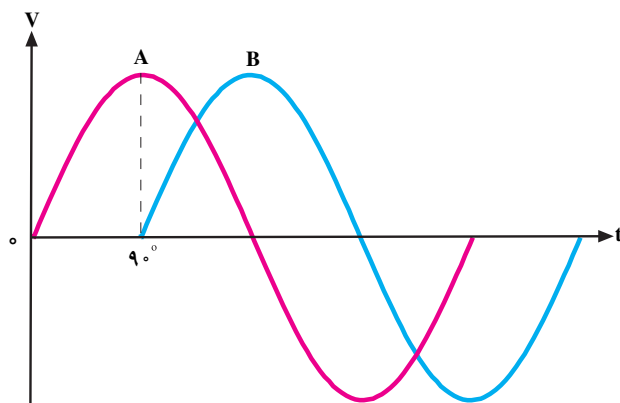
شکل ۱۹-۱۳

۱- Rms مخفف کلمات Root mean Square به معنای جذر میانگین مربعات است.

$$U_P \cdot U_e \cdot \sqrt{2} \cdot 220 \cdot 1/41 \cdot 311$$

$$U_{P-P} \cdot 2U_P \cdot 2 \cdot 311 \cdot 622$$

جابه‌جا شده است. بنابراین بین شکل موج A و شکل موج B یک زاویه فاز یا اختلاف فاز  $90^\circ$  درجه به وجود آمده است.



شکل ۱۳-۲۲ - بین شکل موج A و شکل موج B،  $\frac{\pi}{4}$  رادیان یا  $90^\circ$  اختلاف فاز وجود دارد.

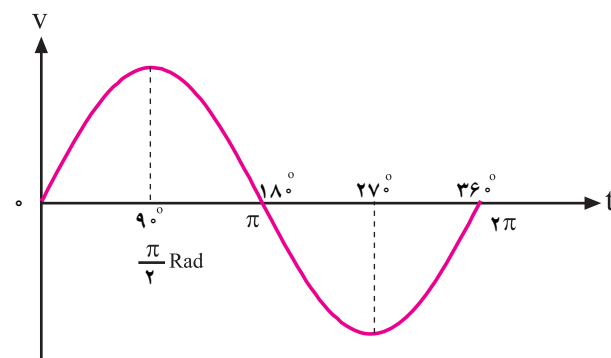
در این شکل موج چون بیک ولتاژ (حداکثر دامنه ولتاژ) موج سینوسی B، بعد از بیک ولتاژ شکل موج سینوسی A به وجود آمده است لذا می‌توان گفت که شکل موج سینوسی B، نسبت به شکل موج سینوسی A  $90^\circ$  درجه تأخیر فاز (پس فاز) دارد یا شکل موج A نسبت به B،  $90^\circ$  درجه تقدم فاز (پیش فاز) دارد.

در شکل ۱۳-۲۳ شکل موج سینوسی B، به اندازه  $90^\circ$  درجه ( $\frac{\pi}{4}$  رادیان) به سمت چپ شیفت پیدا کرده و دامنه‌ی شکل موج سینوسی B، زودتر از دامنه‌ی شکل موج سینوسی A به ماکزیمم رسیده است، لذا شکل موج سینوسی B نسبت به شکل موج سینوسی A به اندازه  $90^\circ$  درجه یا  $\frac{\pi}{4}$  رادیان تقدم فاز دارد یا شکل موج سینوسی A نسبت به شکل موج سینوسی B،  $90^\circ$  درجه تأخیر فاز دارد به مقدار فاز بین دو شکل موج سینوسی **اختلاف فاز** نیز می‌گویند.

## ۱۴-۱۳- اختلاف فاز و زاویه فاز در امواج سینوسی<sup>۱</sup>

در الکتریسیته موقعیت زمانی یک کمیت الکتریکی را نسبت به یک مبدأ فاز (phase) می‌گویند.

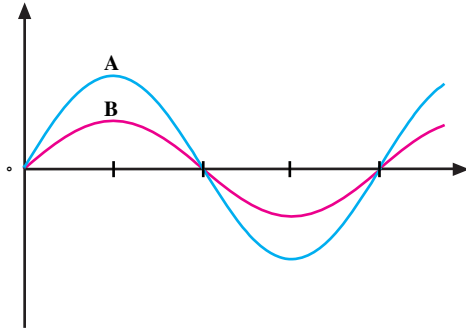
فاز یک موج سینوسی، مقدار زاویه‌ای است که موقعیت یک موج سینوسی را نسبت به مبدأ مشخص می‌کند. در شکل ۱۳-۲۱، یک سیکل کامل از یک موج سینوسی نشان داده شده است. در شکل موج نشان داده شده، نقطه O مبدأ حرکت و نقطه  $90^\circ$  درجه نقطه ماکزیمم دامنه‌ی شکل موج در جهت مثبت است. در نقطه  $180^\circ$  درجه مقدار دامنه به صفر می‌رسد در نقطه  $270^\circ$  درجه مقدار ولتاژ در جهت منفی ماکزیمم می‌شود و در زاویه  $360^\circ$  درجه یا  $2\pi$  رادیان مقدار دامنه به صفر می‌رسد. وقتی شکل موج سینوسی نسبت به شکل موج مبدأ به سمت چپ یا راست جابه‌جا شود، فاز به وجود می‌آید.



شکل ۱۳-۲۱ - یک سیکل کامل از موج سینوسی

در شکل ۱۳-۲۲ شکل موج سینوسی B به اندازه  $90^\circ$  درجه یا  $\frac{\pi}{4}$  رادیان نسبت به شکل ولتاژ مبدأ به سمت راست

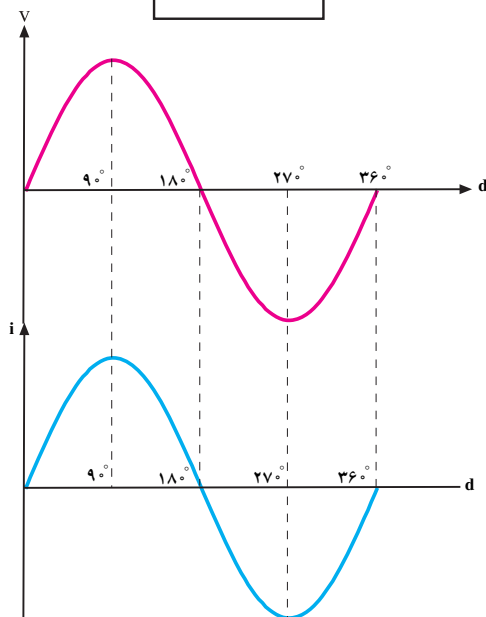
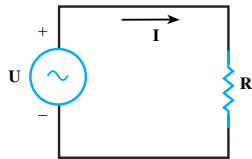
هم فاز هستند.



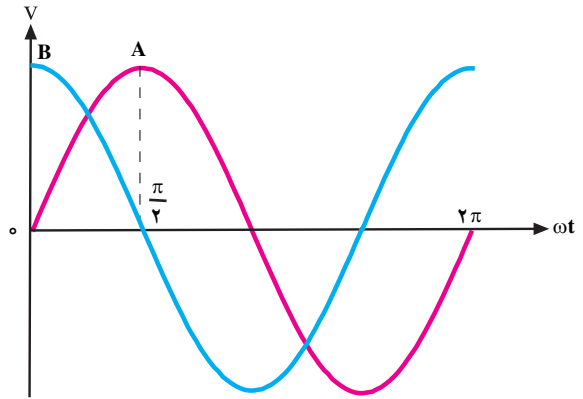
شکل ۱۳-۲۵ - شکل موج A و B با هم هم فاز هستند.

## ۱۳-۱۵ - منحنی ولتاژ و جریان در یک مقاومت اهمی

همان طوری که اشاره شد مقاومت اهمی عنصری است که فقط از خود مخالفت (مقاومت) در برابر عبور جریان الکتریکی نشان می‌دهد. به همین دلیل اثری روی ایجاد فاصله زمانی یا مکانی بین دو موج ولتاژ اعمال شده و جریان عبوری از آن ندارد. در یک مدار اهمی خالص مانند شکل ۱۳-۲۶ بین شکل موج ولتاژ و شکل موج جریان هیچ‌گونه اختلاف فازی وجود ندارد یا به عبارتی دیگر هم فاز هستند.



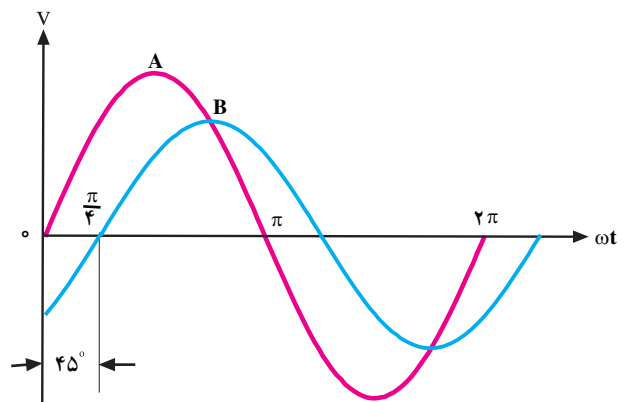
شکل ۱۳-۲۶



شکل ۱۳-۲۳ - شکل موج سینوسی B نسبت به شکل موج سینوسی A تقدم فاز دارد (جلوتر است).

در شکل ۱۳-۲۴ اختلاف فاز بین دو شکل موج

سینوسی، ۴۵ درجه است.



شکل ۱۳-۲۴ - اختلاف فاز بین دو شکل موج A و B برابر ۴۵ درجه است.

از دو شکل موج A و B، هر دو می‌توانند ولتاژ، هر دو جریان و یا یک شکل موج مربوط به ولتاژ و دیگری مربوط به جریان باشد.

چنانچه دو شکل موج از نظر فاز کاملاً مشابه باشند از کلمه هم‌زمان (هم‌فاز) برای بیان وضعیت دو موج نسبت به هم استفاده می‌شود.

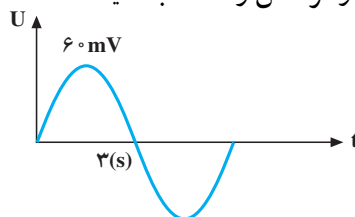
شکل ۱۳-۲۵ دو موج A و B را نشان می‌دهد که نسبت

به هم اختلاف فاز ندارند و یا به عبارتی دیگر دو موج A و B



- ۱- هر یک از مفاهیم زیر را تعریف کنید.  
ولتاژ ثابت، ولتاژ متناوب، فرکانس، زمان تناوب، مقدار مؤثر و متوسط یک موج سینوسی
- ۲- دو سیکل کامل یک موج دندانه ارّه‌ای و مربعی را که دارای مقدار پیک تا پیک  $40^\circ$  ولت است، رسم کنید.
- ۳- مقدار ولتاژ پیک یک موج سینوسی برابر با یک ولت است مقدار مؤثر، متوسط، پیک تا پیک ولتاژ را به دست آورید.
- ۴- با رسم سه موج سینوسی، اختلاف زاویه‌ی آن‌ها را که اولی نسبت به دومی  $30^\circ$  درجه جلوتر و دومی نسبت به سومی  $45^\circ$  درجه جلوتر است، نشان دهید.
- ۵- مقدار ولتاژ لحظه‌ای برق شهر را که دارای فرکانس  $50^\circ$  هرتز و مقدار مؤثر  $220^\circ$  ولت است، در زاویه‌های صفر،  $30^\circ$ ،  $45^\circ$ ،  $90^\circ$ ،  $180^\circ$ ،  $270^\circ$ ،  $360^\circ$  درجه پیدا کنید.
- ۶- زاویه‌ی فاز  $90^\circ$  برابر با چند رادیان است؟
- ۷- منبع ولتاژ  $220^\circ$  ولت AC را به یک مقاومت  $20^\circ$  اهمی اتصال داده‌ایم؛  
الف) مقدار جریان rms در مقاومت را محاسبه کنید.  
ب) فرکانس جریان برق چه قدر است؟ اگر  $\omega = 100^\circ$  رادیان بر ثانیه باشد.  
پ) مقدار اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان را تعیین کنید.
- ت) چه مقدار ولتاژ (dc) مورد نیاز است تا معادل ولتاژ مؤثر در این مقاومت حرارت تولید شود؟
- ۸- فرکانس امواج (AC) زیر چه قدر است؟  
الف - ده سیکل در یک ثانیه  
ب - یک سیکل در  $\frac{1}{10}$  ثانیه  
پ -  $50^\circ$  سیکل در یک ثانیه  
ت -  $50^\circ$  سیکل در ۵ ثانیه
- ۹- پریود T را برای فرکانس‌های زیر محاسبه کنید.  
الف -  $500^\circ$  هرتز (Hz)  
ب - ۵ مگا هرتز (MHz)  
پ - ۵ گیگاهرتز (GHz)

۱۰- در شکل ۲۷-۱۳ مقادیر  $U_{rms}$ ، پریود (T) و فرکانس را محاسبه کنید.



شکل ۲۷-۱۳

۱- جریان متناوبی دارای ماکزیم مقدار  $2^\circ A$  است، معادله‌ی زمانی آن را بنویسید و مقدار لحظه‌ای آن را در موقعی که زاویه‌ی  $18^\circ$ ،  $67^\circ$ ،  $136^\circ$ ،  $242^\circ$  و  $326^\circ$  درجه باشد، مشخص کنید.

۲- مقدار لحظه‌ای نیروی محرکه‌ی جریان متناوبی در  $17^\circ$  برابر با  $34/2$  ولت است. مقدار ماکزیم آن چه قدر است؟

(جواب:  $116/97$  ولت)

۳- مقدار لحظه‌ای نیروی محرکه‌ی متناوبی در  $334/4$  درجه برابر با  $19^\circ$  ولت است. مقدار ماکزیم آن را به دست آورید.

(جواب:  $439/8$  ولت)

۴- مقدار لحظه‌ای ولتاژ متناوب سینوسی را در  $20$  رادیان به دست آورید؛ در صورتی که مقدار ماکزیم ولتاژ آن  $165$  ولت باشد.

(جواب: صفر)

۵- سیم‌پیچی در داخل میدان مغناطیسی دارای حرکت دورانی است. در چه زاویه‌ای مقدار ولتاژ لحظه‌ای  $7^\circ$  برابر مقدار ماکزیم خواهد بود؟

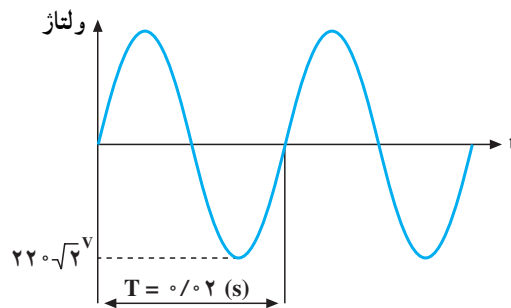
(جواب: تقریباً  $45^\circ$ )

۶- جریانی به معادله‌ی  $i = 100 \sin \omega t$  از یک مقاومت  $10$  اهمی عبور می‌کند. معادله‌ی ولتاژ آن را بنویسید.

(جواب:  $v = 1000 \sin \omega t$ )

۷- مقدار ولتاژ منحنی شکل  $13-28$  را در  $\frac{T}{4}$  حساب کنید. فرکانس و مقدار مؤثر آن چه قدر است؟

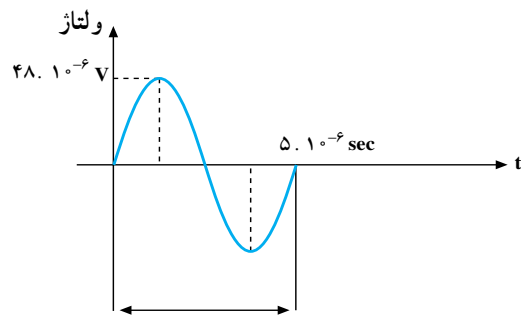
(جواب:  $7^\circ$ ،  $50$  هرتز،  $220$  ولت)



شکل ۱۳-۲۸

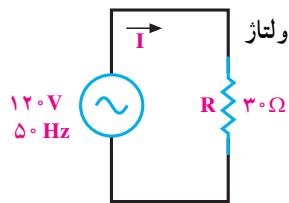
۸- مطلوب است محاسبه‌ی مقادیر مؤثر، زمان تناوب، فرکانس و دامنه P-P شکل  $13-29$ .

(جواب:  $33/9$  V -  $5 \cdot 10^{-6}$  se -  $200$  KHz -  $96$  V)



شکل ۲۹-۱۳

۹- در مدار شکل ۳۰-۱۳ شکل موج منبع سینوسی است. مقادیر  $I_t$ ،  $V_{max}$ ،  $V_{P-P}$ ،  $V_{ave}$ ،  $I_{ave}$ ،  $I_{P-P}$ ،  $I_{max}$  و توان (P) را در مقاومت R به دست آورید.



شکل ۳۰-۱۳